DOI: 10.22092/spj.2023.361320.1297

مجله نهال و بذر"
جلد ۳۸، شماره ۲، سال ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی پایداری عملکرد ریشه و شکر سفید ژنوتیپ های چغندرقند

Assessment of Root and White Sugar Yield Stability of Sugar Beet Genotypes

پرویز فصاحت[۱*]، جواد رضایی[۲]، مستانه شریفی[۳]، حیدر عزیزی[۴]، کیوان فتوحی[۵]،
پرویز مهدیخانی[۶]، عادل پدرام[۷]، علی جلیلیان[۸] و بابک بابائی[۹]

۱ و ۹- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۳- مربی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.
۴، ۵، ۶ و ۷- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
۸- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۵

چکیده

فصاحت، پ.، رضایی، ج.، شریفی، م.، عزیزی، ح.، فتوحی، ک.، مهدیخانی، پ.، پدرام، ع.، جلیلیان، ع. و بابائی، ب. ۱۴۰۱. ارزیابی پایداری عملکرد ریشه و شکر سفید ژنوتیپ های چغندرقند. **مجله نهال و بذر ۳۸:** ۲۳۷-۲۲۳.

به منظور ارزیابی پایداری عملکرد ریشه و شکر سفید۱۱ برای ژنوتیپ چغندرقند بهاره به همراه سه رقم شاهد، آزمایشی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار در شش ایستگاه تحقیقات کشاورزی در استان های خراسان رضوی (طرق)، فارس (زرقان)، کرمانشاه، آذربایجان غربی (میاندوآب و خوی) و کرج در دو سال زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اجرا شد. تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که برهمکنش ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. ژنوتیپ ها واکنش های متفاوتی در شرایط محیطی مختلف داشتند. براساس روش ضریب رگرسیونی، انحراف از رگرسیون، واریانس برهمکنش شوکلا و اکووالانس ریک، و روش ضریب تبیین ژنوتیپ های GB-6 و GB-10 به ترتیب پایدارترین عملکرد ریشه و شکر سفید را داشتند. هرچند که براساس پارامتر واریانس درون مکانی و ضریب تغییرات تعداد ژنوتیپ های پایدار افزایش نشان داد. با این وجود، سه ژنوتیپ GB-10، GB-11 و GB-2 به ترتیب دارای پایداری بالا برای عملکرد ریشه و شکر سفید بودند. با استفاده از روش GGE بای پلات، ژنوتیپ های GB-11، GB-10، GB-2 و GB-6 به ترتیب دارای میانگین عملکرد ریشه و شکر سفید بالاتر از میانگین کل ژنوتیپ ها بودند. بر اساس نتایج این پژوهش ژنوتیپ های GB-6، GB-11، GB-2 و GB-10 به عنوان ژنوتیپ های دارای عملکرد ریشه و شکر سفید بالاو پایدار شناسایی شدند.

کلمات کلیدی: چغندرقند، برهمکنش ژنوتیپ × محیط، پارامترهای پایداری، ضریب رگرسیون، GGE بای پلات.

* نگارنده مسئول:p.fasahat@areeo.ac.ir تلفن: ۰۲۶۳۶۷۰۲۶۱۳

مقدمه

چغندرقند با نام علمی .*Beta vulgaris* L با تولید جهانی بالغ بر ۲۷۰ میلیون تن محصول ریشه دومین منبع تولید شکر در دنیا پس از نیشکر می باشد (FAO, 2023). در ایران، به لحاظ شرایط آب و هوایی حاکم، نیمی از شکر تولیدی از زراعت چغندرقند و نیمی از نیشکر تهیه می شود. از ریشه چغندرقند برای غذای انسان، تغذیهٔ دام یا کاربردهای صنعتی استفاده می شود. از کل شکر موجود در ریشه، ۸۳/۱ درصد به صورت بلورهای ساکارز و ۱۲/۵ درصد به صورت ملاس بازیافت می شود.

با توجه به رقابت شدید در بازار جهانی فروش بذر، هرساله ارقام جدیدی از چغندرقند معرفی و پس از انجام ارزیابی های لازم در کشورهای هدف، وارد بازار فروش آن کشور می شوند. دستیابی به یک رقم جدید مستلزم تولید ژنوتیپ های متنوع در برنامه های بهنژادی و آزمون ژنوتیپ های بدست آمده در مناطق مختلف است. شناسایی ژنوتیپ های برتر در برنامه های بهنژادی همواره به دلیل تغییرات محیطی در مناطق هدف و برهکمنش این تغییرات با ژنوتیپ های مورد بررسی مشکل می باشد. بنابراین لاین های پیشرفته زراعی در برنامه های بهنژادی به منظور اطمینان از تولید محصول و پایداری عملکرد بایستی در محیط های با شرایط آب و هوایی مختلف و در سال های متفاوت ارزیابی شوند.

یک ژنوتیپ معمولا در محیط های مختلف از لحاظ عملکرد واکنش های متفاوتی دارد، بطوریکه رتبه آن از یک محیط به محیط دیگر تغییر می یابد. این تغییرات در نتیجه برهمکنش ژنوتیپ × محیط ایجاد می شود (Fasahat *et al*., 2014). چنانچه برهمکنش ژنوتیپ × محیط معنی دار باشد، به نژادگر نیازمند شناسایی ژنوتیپ های با عملکرد پایدار و عملکرد نسبتا بالا در دامنه ای از محیط های هدف می باشد. پایداری عملکرد ممکن است به صورت استاتیکی و یا دینامیکی باشد. پایداری زمانی استاتیکی است که ژنوتیپ ها تمایل به حفظ عملکرد یکسان در همه محیط ها داشته باشند و زمانی دینامیکی است که واکنش های عملکرد یک ژنوتیپ دارای یک روال ثابت به تغییرات در محیط ها باشد. به عبارت دیگر، واکنش یک ژنوتیپ موازی با میانگین عملکرد ژنوتیپ ها در محیط های مختلف باشد (Fasahat *et al*., 2015).

برهمکنش ژنوتیپ × محیط مهمترین چالش فراروی بهنژادگران گیاهی است. معرفی ژنوتیپ های مناسب با سازگاری عمومی و خصوصی برای محیط های هدف و تعیین ژنوتیپ های با عملکرد بالا و پایدار در سال های مختلف از اهداف مهم در بررسی ژنوتیپ ها در سال ها و مکان های مختلف می باشد (Fasahat *et al*., 2016). برای تعیین برهمکنش ژنوتیپ × محیط عموماً از تجزیه واریانس مرکب داده ها و برآورد اجزای واریانس استفاده می شود (Miller *et al*., 1958). معنی دار شدن برهمکنش ژنوتیپ × محیط، به دلیل تغییرات زیاد ژنوتیپ ها در محیط های مختلف و نیز تغییرات در رتبه نسبی ژنوتیپ ها است (Xie, 1996).

روش های بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط به طور کلی به دو گروه اصلی شامل: روش های تک متغیره و چند متغیره تقسیم می شوند. در میان روش های چندمتغیره، روش بای پلات روش کارآمدی است که برمبنای تجزیه به مولفه های اصلی عمل می کند. یک نسخه ویژه از بای پلات، GGE بای پلات است که به طور همزمان اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط را در اختیار قرار می دهد (Yan and Tinker, 2006).

روش های رگرسیونی که از روش های تک متغیره پارامتری می باشند اهمیت بسیار زیادی دارند و همواره توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته اند. رومر استفاده از واریانس محیطی را با عنوان پارامتر پایداری پیشنهاد نمود (Grausgruber *et al.*, 2000). یعنی رقمی که عملکردش نوسان کمتری در بین محیط ها نشان دهد واریانس آن کوچکتر بوده و در نتیجه عملکرد آن پایدارتر است. فرانسیس و کاننبرگ (Francis and Kannenberg, 1978) به منظور تعیین پایداری عملکرد ژنوتیپ های ذرت از ضریب تغییرات محیطی استفاده کردند که برطبق این معیار ژنوتیپی دارای عملکرد پایدار است که ضریب تغییرات آن کمتر باشد.

شاخص پایداری اکووالانس ریک که یکی از پرکاربردترین روش های تعیین پایداری عملکرد است و مستقیماً به برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای هر ژنوتیپ بستگی دارد، در سال ۱۹۶۲ توسط ریک (Wricke, 1964) ارائه شد. شوکلا (Shukla, 1972) نیز پارامتر واریانس پایداری را برای هر ژنوتیپ مطرح نمود که براساس آن، ژنوتیپ با عملکرد پایدار دارای حداقل واریانس می باشد. لین و بینز (Lin and Binns, 1988) واریانس درون مکانی را ارائه دادند. همچنین، استفاده از ضریب تبیین به جای استفاده از میانگین مربعات انحرافات برای برآورد پایداری عملکرد ژنوتیپ ها پیشنهاد شده است (Pinthus, 1973). پژوهشگران متعددی از روش های مختلف پایداری برای بررسی پایداری عملکرد و سازگاری ارقام چغندرقند استفاده کرده اند (Keshavarz *et al.*, 2008; Fasahat *et al.*, 2019; Hasani *et al.*, 2021).

باتوجه به موارد بیان شده در بالا، این پژوهش به منظور شناسایی ژنوتیپ های چغندرقند با پایداری عملکرد ریشه و شکر سفید بالا در مناطق مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش ها

برای بررسی پایداری عملکرد ریشه و شکر سفید و مقاومت به بیماری ریزومانیا ۱۱ ژنوتیپ چغندرقند دریافت شده تحت کد ،که حامل ژن مقاومت به ریزومانیا بودند، به همراه ارقام شاهد Macumba، Denzel و BTS310 در آزمایشی به صورت طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزارع با آلودگی طبیعی به ریزومانیا در ایستگاه های تحقیقات کشاورزی استان های خراسان رضوی (طرق)، فارس (زرقان)، کرمانشاه، آذربایجان غربی (میاندوآب و خوی) و مزرعه عاری از آلودگی (کرج) به مدت دو سال (۱۳۹۹ و ۱۴۰۰) ارزیابی شدند (جدول ۱).

جدول ۱- مختصات جغرافیایی و اطلاعات هواشناسی ایستگاه های تحقیقات کشاورزی در سال های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

Table 1. Geographical coordinates and meteorological information of agricultural research stations in 2020 and 2021

Location	مکان	سال Year	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	کمینه دما (درجه سانی گراد) Minimum temperature (ºC)	بیشینه دما (درجه سانی گراد) Maximum temperature (ºC)	بارندگی (میلی متر) Precipitation (mm)	بافت خاک Soil texture
Toroq	طرق	2020	998	35º12´ N	60º48 E	12.3	25.7	214.9	Silty-loam
		2021				13.2	27.4	62.7	
Zarqan	زرقان	2020	1598	29º46´ N	52º42 E	11.1	28.9	207.3	Clay-loam
		2021				13.0	30.5	28.2	
Kermanshah	کرمانشاه	2020	1362	34º15´ N	46º48 E	10.8	28.5	319.2	Silty-clay
		2021				10.7	28.9	71.3	
Miandoab	میاندوآب	2020	1294	36º57´ N	46º06 E	9.0	25.3	166.8	Silty-loam
		2021				10.7	26.3	107.3	
Khoy	خوی	2020	1147	38º22´ N	44º56 E	11.0	24.9	240.2	Silty-loam
		2021				11.7	25.9	154.4	
Karaj	کرج	2020	1244	35º50´ N	50º52 E	10.4	26.5	252.3	Clay-loam
		2021				12.1	27.9	51.6	

در پاییز، عملیات زراعی شامل شخم، پخش کود و عملیات تکمیلی تهیه بستر کشت شامل شخم سطحی، دیسک و ماله کشی انجام شد. هر کرت شامل سه خط کاشت با فواصل ۵۰ سانتی متر و به طول هشت متر در نظر گرفته شد. برای کنترل آفات از سموم شیمیایی فلونازول (۳۰۰ گرم در هکتار) و تری دی مورف (یک لیتر در هکتار) و مدیریت و کنترل علف های هرز به صورت وجین دستی و روش های مکانیکی انجام شد.

در مرحله برداشت، ریشه های هر کرت برداشت و توزین شدند و پس از تبدیل به مقیاس تن در هکتار به عنوان عملکرد ریشه ثبت شد. پس از شستشوی ریشه ها، خمیر ریشه تهیه شده از نمونه های هر کرت به سینی های مخصوص منتقل شد و به مدت یک روز تا یک هفته در فریزر در دمای ^oC ۲۰- نگهداری شدند. سپس جهت تجزیه ویژگی های کیفیت، نمونه ها به آزمایشگاه تکنولوژی قند در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند منتقل شدند. در این پژوهش عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید اندازه گیری شدند. عملکرد شکر خالص از طریق رابطه زیر بدست آمد (Reinfeld *et al*., 1974):

$$WSY = RY \times WSC$$

در این رابطه WSY عملکرد شکر خالص، RY عملکرد ریشه و WSC درصد شکر خالص بود.

تجزیه و تحلیل آماری

آزمون بارتلت برای اطمینان از همگنی واریانس خطاهای آزمایشی در محیط های آزمایشی نشان داد که واریانس خطاهای آزمایشی برای عملکرد ریشه ($\chi^2 = 0.7073$) و عملکرد شکر سفید ($\chi^2 = 0.4540$) همگن بودند. بنابراین، تجزیه واریانس مرکب داده ها با فرض ثابت بودن ژنوتیپ و مکان و تصادفی بودن سال، انجام شد.

برای انجام تجزیه پایداری عملکرد بر روی ۱۲ محیط، از آماره های ضریب رگرسیونی (Finlay and Wilkinson, 1963)، واریانس انحراف از رگرسیون (Eberhart and Russel, 1966)، واریانس برهمکنش شوکلا (Shukla, 1972) و اکووالانس ریک (Wricke, 1964)، واریانس درون مکانی (Lin and Binns, 1988)، ضریب تبیین (Pinthus, 1973) و ضریب تغییرات (Francis and Kannenberg, 1978) استفاده شد.

برای رتبه بندی از آزمون رتبه بندی فریدمان (Friedman, 1937) استفاده شد. برای مقایسه میانگین ها از آزمون چند دامنه ای دانکن درسطح احتمال پنج درصد استفاده شد. آماره های ذکر شده با استفاده از نرم افزار Microsoft Excel و آزمون رتبه بندی فریدمان با نرم افزار SAS (v. 9.1) محاسبه شد. جهت انجام تجزیه گرافیکی و تحلیل ساده تر برهمکنش ژنوتیپ × محیط از مدل گرافیکی GGE بای پلات استفاده شد.

نتایج و بحث

شدت بیماری در مرحله برداشت در مقیاس ۹-۱ (Luterbacher et al., 2005) در دو منطقه

مشهد و شیراز یادداشت برداری شد. نمرات ۱ و ۹ به ترتیب نشان دهنده کمترین و بالاترین آلودگی به بیماری است. اگرچه آزمایشات در ایستگاه‌های میاندوآب و همدان در شرایط آلوده به بیماری انجام شد، اما یادداشت برداری تنها در دو ایستگاه مشهد و شیراز انجام شد. ارزیابی ژنوتیپ‌ها در زمین آلوده به ریزومانیا در مشهد در سال اول نشان داد که تمامی ژنوتیپ‌ها دارای مقاومت کامل با ریشه‌های سالم و بدون ریشه مویی یا تغییر رنگ هستند. بنابراین نتیجه گیری شد که همه ژنوتیپ ها حامل ژن های مقاومت مربوط به بیماری هستند.

در سال دوم تنها ژنوتیپ های Gen-4 و BTS310 و Macumba مقاومت کامل و سایر ژنوتیپ ها همراه با شاهد Denzel نیمه مقاوم نشان دادند. این می تواند به دلیل شرایط محیطی و سویه های جدید توسعه بیماری باشد که منجر به عدم وجود مقاومت کامل ژنوتیپ شد. در شیراز، ژنوتیپ ها در هر دو سال آزمایش در گروه نیمه مقاوم تا نیمه حساس و بدون مقاومت کامل به بیماری قرار گرفتند. این به وضوح نشان داد که شدت آلودگی ژنوتیپ ها به این بیماری در شیراز بیشتر از مشهد بود.

اثر مکان بر عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). عملکرد ریشه (۹۵/۷ تن در هکتار) و شکر سفید (۱۷/۱ تن در هکتار) در کرمانشاه به طورمعنی‌داری بیشتر از کرج (به ترتیب معادل ۹۵/۵ و ۱۳/۷ تن در هکتار)، میاندوآب (به ترتیب معادل ۷۵/۰ و ۱۲/۴ تن در هکتار)، شیراز (به ترتیب معادل ۷۲/۷ و ۱۰/۵ تن در هکتار)، مشهد (به ترتیب معادل ۷۲/۶ و ۱۳/۲ تن در هکتار) و خوی (به ترتیب معادل ۶۹/۰ و ۱۰/۴ تن در هکتار) بود (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد ریشه و شکر سفید ژنوتیپ های چغندرقند در شش مکان در دو سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

Table 2. Combined analysis of variance for root and white sugar yield of sugar beet genotypes in six locations in 2020 and 2021

			میانگین مربعات Mean squares	
S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	عملکرد ریشه Root yield	عملکرد شکر سفید White sugar yield
Location (L)	مکان	5	16629**	688.4**
Genotype (G)	ژنوتیپ	13	1081.6**	20.9**
G × L	ژنوتیپ × مکان	65	272.9	7.2
Year (Y)	سال	1	15.4	3.2
Environment (E)	محیط	5	1219.1**	16.4*
Block/E	بلوک/ محیط	36	242.4	6.3
Y × G	سال × ژنوتیپ	13	189.1**	5.3*
E × G	محیط × ژنوتیپ	65	245.1**	6.2**
Error	خطا	468	86.7	2.6
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات	-	11.6	12.6

*and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively. * و ** به ترتیب معنی دار درسطح احتمال آماری پنج در صد و یک درصد.

جدول ۳- میانگین عملکرد ریشه و پارامترهای پایداری عملکرد و رتبه پارامترهای پایداری برای ژنوتیپ های چغندرقند

Table 3. Mean root yield and estimated yield stability parameters and ranks of stability parameters for sugar beet genotypes

ژنوتیپ Genotype	میانگین عملکرد ریشه (تن در هکتار) Mean root yield (ton ha^{-1})	Yield stability parameter پارامتر پایداری عملکرد						
		b_i	S^2d_i	R^2_i	σ^2_i	W^2_i	P_i	CV_i
GB-1	86.6bc	0.97	9.5	0.8	34.5	160.0	64.0	16.1
GB-2	81.8bc	0.74	19.6	0.6	55.2	249.0	55.8	13.5
GB-3	79.9cd	1.3	57.4	0.7	97.3	429.2	104.4	22.7
GB-4	81.5bc	0.9	9.4	0.8	34.6	160.7	50.0	15.8
GB-5	80.9bc	0.9	2.0	0.8	28.0	132.3	63.9	15.5
GB-6	80.8bc	1.1	27.5–	0.9	4.9	33.3	53.9	17.7
GB-7	78.5cde	1.0	14.2–	0.9	12.6	66.5	88.5	16.9
GB-8	75.4e	0.9	11.0–	0.8	16.4	82.8	123.3	15.6
GB-9	76.5de	1.2	2.9	0.8	35.9	166.0	125.8	20.4
GB-10	85.1b	0.7	12.0–	0.8	26.6	126.3	22.0	11.4
GB-11	84.8b	0.9	0.7	0.8	26.1	124.3	24.7	15.4
Beta310	89.0a	1.1	8.5–	0.9	21.8	105.8	8.5	16.5
Denzel	75.6e	1.1	29.1–	0.9	0.1	12.9	117.0	17.8
Macumba	70.0f	0.7	46.8	0.5	83.0	368.3	258.9	16.7

ژنوتیپ Genotype	میانگین رتبه Mean rank	Stability parameter rank رتبه پارامتر پایداری						
		b_i	S^2d_i	R^2_i	σ^2_i	W^2_i	P_i	CV_i
GB-1	10	7	11	5.5	9	9	8	7
GB-2	11	3	12	2	12	12	6	2
GB-3	6	14	14	3	14	14	10	14
GB-4	9	6	10	5.5	10	10	4	6
GB-5	8	5	8	7	8	8	7	3
GB-6	7	12	2	13	2	2	5	11
GB-7	5	9	3	12	3	3	9	10
GB-8	2	4	5	4	4	4	12	5
GB-9	4	13	9	10	11	11	13	13
GB-10	13	2	4	8	7	7	2	1
GB-11	12	8	7	9	6	6	3	4
Beta310	14	11	6	11	5	5	1	8
Denzel	3	10	1	14	1	1	11	12
Macumba	1	1	13	1	13	13	14	9

میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

Means followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability levels-using Duncan's Multiple Range Test.

b_i: ضریب رگرسیون، S^2d_i: انحراف از رگرسیون، R^2_i: ضریب تبیین، σ^2_i: واریانس برهمکنش شوکلا، W^2_i: اکووالانس ریک، P_i: واریانس درون مکانی، CV_i: ضریب تغییرات.

b_i: regression coefficient, S^2d_i: deviation from regression, R^2_i: coefficient of determination, σ^2_i: Shukla's stability variance, W^2_i: ecovalence, P_i: superiority measure, CV_i: coefficient of variation.

ژنوتیپ های چغندقند نیز از نظر عملکرد ریشه و شکر سفید نیز در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۲). بیشترین عملکرد ریشه بعد از شاهد Beta310 (۸۹/۰ تن در هکتار) به ژنوتیپ GB-10 (۸۵/۱ تن در هکتار) تعلق داشت که با ژنوتیپ های GB-11، GB-2، GB-1، GB-4، GB-5، و GB-6 تفاوت معنی دار نداشتند (جدول ۳). بیشترین عملکرد شکرسفید نیز به رقم شاهد Beta310 (۱۳/۷ تن در هکتار) اختصاص داشت. عملکرد شکر سفید ژنوتیپ‌های GB-3، GB-4، GB-2، و GB-13 تفاوت معنی داری با این شاهد نداشت (جدول ۳).

حسنی و همکاران (Hasani *et al.*, 2021) گزارش کردند که تغییرات عملکرد ریشه در ژنوتیپ های چغندرقند در چهار منطقه برابر با ۲۰/۷۱ تن در هکتار بود. وضعیت اقلیمی و آب و هوایی باعث تغییرات ملاحظه ای در عملکرد شکر سفید می شود. به عنوان مثال تغییرات عملکرد در اروپا از ۶ تن در هکتار در فنلاند تا ۱۴ تن در هکتار در فرانسه تفاوت گزارش شده است (Hoffmann *et al.*, 2021). باید توجه داشت هنگامی که عملکرد شکر سفید در کشورهای مختلف مقایسه می‌شود، باید در نظر گرفت که ممکن است در تعیین عملکرد شکر سفید تفاوت‌هایی وجود داشته باشد (مثلاً در مزرعه یا در کارخانه، سرزنی شده یا بدون سرزنی، مقدار شکر قابل استحصال محاسبه‌شده با فرمول‌های مختلف) (Hoffmann *et al.*, 2021). برهمکنش مکان × ژنوتیپ بر عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید معنی‌دار نشد که این موضوع نشان داد پاسخ ژنوتیپ‌ها در مناطق مختلف یکسان بود.

در این پژوهش، دامنه ضریب رگرسیونی از ۰/۷۱ تا ۱/۳۲ تغییرات داشت که نشان دهنده تفاوت در واکنش ژنوتیپ ها به تغییرات محیطی بود (جدول ۳). در میان ژنوتیپ های چغندر قند، ژنوتیپ GB-6 با ضریب رگرسیون نزدیک به یک و عملکرد ریشه بالاتر از میانگین کل (۸۰/۱ تن در هکتار) دارای پایداری عملکرد متوسط و سازگاری عمومی خوب به شرایط محیطی مناطق هدف بود. ضریب رگرسیون برابر با یک نشان از پایداری عملکرد متوسط دارد که در صورتی که با میانگین عملکرد ریشه بالا نیز همراه باشد، ارقام سازگاری عمومی و پایداری عملکرد مطلوبی دارند (Fasahat *et al.*, 2015). فصاحت و همکاران (Fasahat *et al.*, 2019) نیز ضریب رگرسیون ۰/۶۹ تا ۱/۲۷ برای ۱۷ ژنوتیپ چغندرقند گزارش کردند.

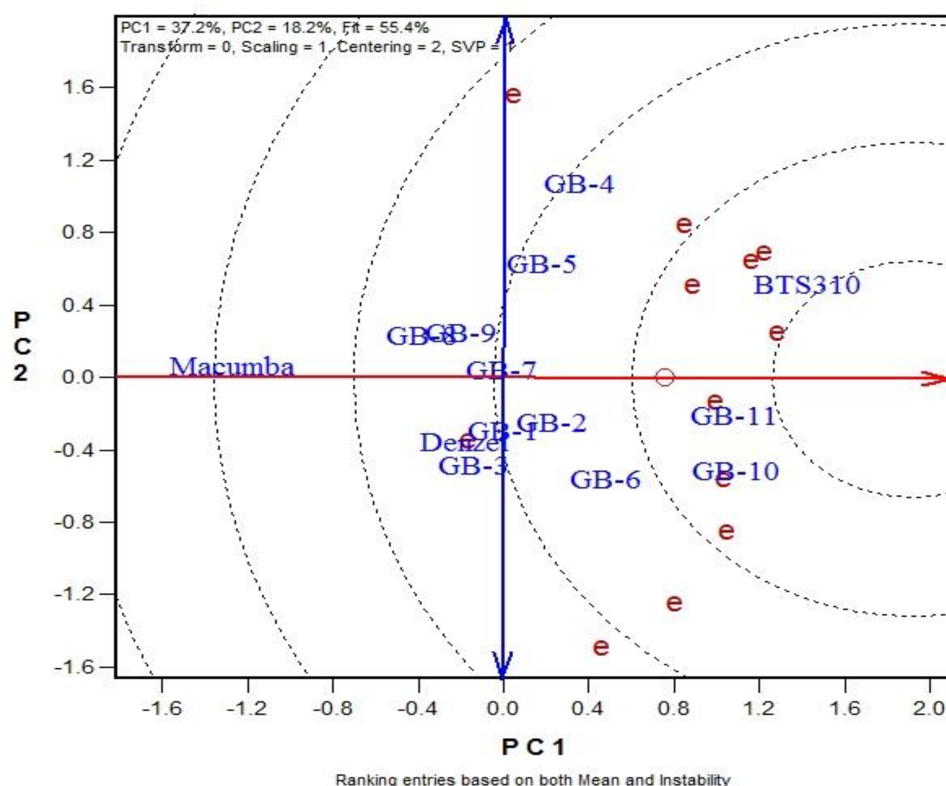
بر اساس واریانس انحراف از رگرسیون، ژنوتیپ GB-6 دارای کمترین مقدارمعنی‌دار بود و بنابراین دارای عملکرد ریشه پایدار بود. ضریب تبیین در واقع آن قسمت از تغییرات موجود در عملکرد یک ژنوتیپ را که علت برازش مدل است اندازه می گیرد (Pinthus, 1973). ضریب تبیین در دامنه ۰/۵۵

تا ۰/۹۹ قرار داشت که در آن میانگین عملکرد ریشه با واکنش ژنوتیپ ها در تمامی محیط ها بیان می شود. نتایج این پژوهش نشان داد که ژنوتیپ GB-6 بالاترین ضریب تبیین به همراه عملکرد ریشه بالا را دارا بود.

تلفیق معیارهای مختلف پایداری می تواند در شناسایی ژنوتیپ های با عملکرد بالا و پایدار در گیاهان مختلف مانند چغندرقند و جو سودمند باشد (Vaezi *et al*., 2019; Hasani *et al*., 2021). در روش اکووالانس ریک، سهم هر ژنوتیپ از برهمکنش ژنوتیپ × محیط محاسبه می شود (Wricke, 1964). پایداری عملکرد ژنوتیپ ها برمبنای واریانس برهمکنش شوکلا و اکووالانس ریک یکسان بود و براین اساس، ژنوتیپ GB-6 کمترین مقدار عددی این دو پارامتر، بعد از شاهد Denzel، به همراه عملکرد ریشه بالاتر از میانگین کل را دارا بود. فصاحت و همکاران (Fasahat *et al*., 2019) در بررسی اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد شکر در هیبریدهای چغندرقند از این مدل رگرسیونی استفاده کردند.

ژنوتیپ های GB-10، GB-11 و GB-4 در کنار شاهد آزمایش (Beta310) کمترین میزان واریانس درون مکانی را به خود اختصاص دادند و به عنوان ژنوتیپ های با عملکرد ریشه پایدار شناخته شدند (جدول ۳). سایر پژوهشگران نیز از این پارامتر برای بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپ ها استفاده کرده اند (Fasahat *et al*., 2018; Fasahat *et al*., 2019; Fasahat *et al*., 2020). همانند واریانس درون مکانی، ژنوتیپ GB-10 کمترین میزان ضریب تغییرات را به خود اختصاص داد و ژنوتیپ های GB-2، GB-5 و GB-11 به ترتیب بعد از آن قرار گرفتند. هر چهار ژنوتیپ مذکور دارای عملکرد ریشه بالاتر از میانگین کل بودند (جدول ۳).

در شکل ۱ ژنوتیپ ها براساس ژنوتیپ ایده آل رتبه بندی شده اند. ژنوتیپی ایده آل شناخته می شود که هم میانگین عملکرد بالا و هم پایداری عملکرد بالا داشته باشد. ایده آل ترین ژنوتیپ در مرکز دوایر متحدالمرکز قرار دارد. براین اساس، ژنوتیپ های GB-10 و GB-11 به همراه GB-6 به عنوان ژنوتیپ های مطلوب بودند (شکل ۱). مرادی و همکاران (Moradi *et al*., 2014) در ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط ارقام منوژرم چغندرقند براساس عملکرد ریشه نشان دادند که دو مولفه اول بیش از ۹۹ درصد از تغییرات عملکرد ریشه را تبیین کردند و در میان ارقام مورد بررسی، رقم زرقان بیشترین سازگاری عمومی و رقم لاتیتیا کمترین سازگاری عمومی را نشان داد.



شکل ۱- رتبه بندی ژنوتیپ های چغندرقند برای عملکرد ریشه براساس ژنوتیپ ایده آل
Fig. 1. Ranking sugar beet genotypes for root yield based on ideal genotype

برای عملکرد شکر سفید، دامنه ضریب رگرسیونی از ۰/۷۹ تا ۱/۲۲ نوسان داشت که مانند عملکرد ریشه نشاندهنده تفاوت در واکنش ژنوتیپ ها به تغییرات محیطی بود (جدول ۴). در میان ژنوتیپ های چغندرقند، ژنوتیپ GB-10 با ضریب رگرسیون نزدیک به یک و عملکرد شکر سفید بالاتر از میانگین کل (۱۲/۹ تن در هکتار) دارای پایداری عملکرد شکر سفید متوسط و سازگاری عمومی خوب بود (جدول ۴). ضریب تبیین در دامنه ۰/۵۵ تا ۰/۹۹ قرار داشت که در آن میانگین عملکرد ریشه با واکنش ژنوتیپ ها در تمامی محیط ها بیان می شود. همانند عملکرد ریشه، ژنوتیپ GB-6 با کمترین واریانس انحراف از رگرسیون معنی دار بود و دارای پایداری عملکرد شکر سفید بود (جدول ۴). ژنوتیپ GB-6 بالاترین ضریب تبیین به همراه عملکرد شکر سفید بالا را دارا بود.

جدول ۴- میانگین عملکرد شکر سفید و پارامترهای پایداری و رتبه پارامترهای پایداری برای ژنوتیپ های چغندرقند

Table 4. Mean white sugar yield and estimated yield stability parameters and ranks of stability parameters for sugar beet genotypes

ژنوتیپ Genotype	میانگین عملکرد شکر سفید (تن در هکتار) Mean white sugar yield (ton ha^{-1})	Yield stability parameter پارامترهای پایداری عملکرد						
		b_i	S^2d_i	R^2_i	σ^2_i	W^2_i	P_i	CV_i
GB-1	13.1abcd	0.8	0.70	0.7	1.6	7.1	1.7	18.2
GB-2	13.5ab	0.7	0.50	0.7	1.5	6.9	0.9	16.4
GB-3	13.6ab	1.2	1.1	0.8	2.1	9.5	1.2	24.1
GB-4	13.5ab	1.0	0.09	0.9	0.8	3.8	0.9	20.4
GB-5	12.5cde	1.0	0.20	0.8	0.9	4.2	2.8	21.7
GB-6	13.0abcde	1.0	0.40–	0.9	0.2	1.6	1.4	20.7
GB-7	12.7cde	0.9	0.20–	0.9	0.4	2.4	2.3	19.5
GB-8	12.4de	0.8	0.40–	0.9	0.4	2.3	2.7	17.5
GB-9	12.2e	1.1	0.01–	0.9	0.9	4.3	3.5	24.7
GB-10	13.2abc	0.8	0.20	0.8	1.2	5.6	1.6	16.6
GB-11	13.1abcd	1.1	0.30–	0.9	0.4	2.2	1.5	21.4
Beta310	13.7a	1.1	0.09–	0.9	0.7	3.3	0.7	20.7
Denzel	12.9bcde	1.0	0.60–	0.9	0.1	0.9	1.6	20.4
Macumba	11.2f	0.8	0.10	0.8	0.9	4.3	6.2	21.1

ژنوتیپ Genotype	میانگین رتبه Mean rank	Stability parameter rank رتبه پارامتر پایداری						
		b_i	S^2d_i	R^2_i	σ^2_i	W^2_i	P_i	CV_i
GB-1	8.5	3.5	13	1.5	13	13	9	4
GB-2	11.5	1.0	12	1.5	12	12	3	1
GB-3	13.0	14.0	14	4.5	14	14	4	13
GB-4	11.5	9.5	8	7	7	7	2	6
GB-5	4.0	7.0	10	6	8	8	12	12
GB-6	7.0	9.5	2	13	2	2	5	9
GB-7	5.0	6.0	5	9	5	5	10	5
GB-8	3.0	3.5	3	11	4	4	11	3
GB-9	2.0	13.0	7	9	9	9	13	14
GB-10	10.0	2.0	11	3	11	11	7.5	2
GB-11	8.5	12.0	4	12	3	3	6	11
Beta310	14.0	11.0	6	9	6	6	1	8
Denzel	6.0	8.0	1	14	1	1	7.5	7
Macumba	1.0	5.0	9	4.5	10	10	14	10

میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

Means followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability levels-using Duncan's Multiple Range Test.

b_i: ضریب رگرسیون، S^2d_i: انحراف از رگرسیون، R^2_i: ضریب تبیین، σ^2_i: واریانس برهمکنش شوکلا، W^2_i: اکوواریانس ریک، P_i: واریانس درون مکانی، CV_i: ضریب تغییرات.

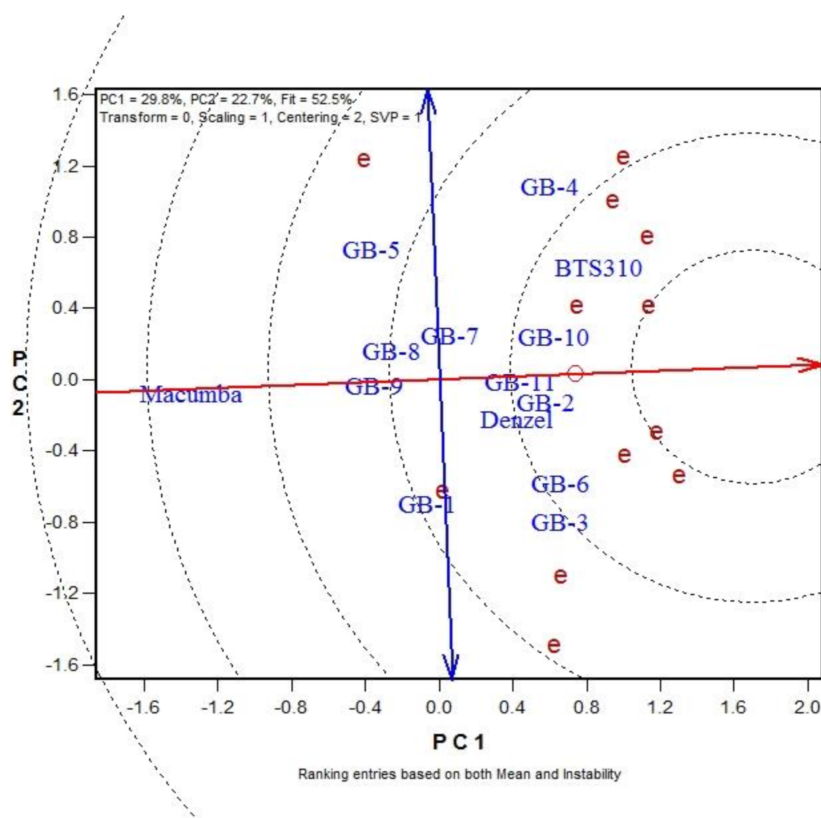
b_i: regression coefficient, S^2d_i: deviation from regression, R^2_i: coefficient of determination, σ^2_i: Shukla's stability variance, W^2_i: ecovalence, P_i: superiority measure, CV_i: coefficient of variation.

بررســی پایــداری ژنوتیــپ هــای چغندرقنـد برمبنای واریانس برهمکنش شوکلا و اکـوواریانس

ریک یکسان بود و بـراین اساس، ژنوتیـپ GB-6 کمترین مقدار عددی این دو پارامتر، بعد از شـاهد

Denzel، به همراه عملکرد شکر سفید بالاتر از میانگین کل را دارا بود (جدول ۴). ژنوتیپ های GB-4، GB-2 و GB-3 در کنار شاهد آزمایش (Beta310) کمترین واریانس درون مکانی را به خود اختصاص دادند و به عنوان ژنوتیپ های با پایداری عملکرد بالا شناخته شدند (جدول ۴). ژنوتیپ GB-2 کمترین میزان ضریب تغییرات را به خود اختصاص داد و ژنوتیپ های GB-10، GB-8 و GB-1 به ترتیب بعد از آن قرار گرفتند. هر چهار ژنوتیپ مذکور عملکرد شکر سفید بالاتر از میانگین کل را دارا بودند (جدول ۴). تبریزی (Tabrizi, 2012) از روش های مختلف پایداری برای شناسایی ارقام با عملکرد پایدار آفتابگردان استفاده کرد و نتیجه گرفت میانگین عملکرد همراه با پارامترهای پایداری عملکرد می تواند در شناسایی ارقام پایدار آفتابگردان موثر باشد.

رتبه بندی ژنوتیپ ها برای عملکرد شکر سفید براساس ژنوتیپ ایده آل حاکی از برتری ژنوتیپ GB-10 و GB-11 به همراه ژنوتیپ GB-2 بود (شکل ۲). حسنی و همکاران (Hasani *et al.*, 2018) در مطالعه ای با استفاده از GGE بای پلات گزارش کردند که دو مولفه اول ۶۲/۹ درصد از تغییرات بر همکنش ژنوتیپ × محیط را برای عملکرد شکر خالص توجیه کردند. در مطالعه آنها سه ژنوتیپ به عنوان ژنوتیپ پایدار نسبت به شرایط محیطی مختلف شناسایی شدند.



شکل ۲. رتبه بندی ژنوتیپ های چغندرقند برای عملکرد شکر سفید براساس ژنوتیپ ایده آل
Fig. 2. Ranking sugar beet genotypes for white sugar yield based on ideal genotype

هدف از انجام و تجزیه و تحلیل های آماری آزمایش های چندمکانی، حذف تا حد امکان تغییرات غیرقابل توضیح و خارجی (نویز) موجود در داده ها است. برای انتخاب ژنوتیپ های برتر عملکرد و پایداری عملکرد بالا از ویژگی هایی هستند که ژنوتیپ برتر باید واجد آنها باشد. براساس نتایج روش های تک متغیره و چندمتغیره مورد استفاده در این پژوهش، ژنوتیپ های GB11، GB-10، GB-2 و GB-6 به عنوان ژنوتیپ های با پایداری عملکرد ریشه و شکر سفید شناسایی شدند.

سپاسگزاری

این مقاله با استفاده از داده های پروژه ملی مصوب شماره ۹۹۰۲۷۳-۰۱۰-۰۲-۰۲-۰ موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند تهیه شده است. نگارندگان بدین وسیله از مدیریت موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند برای پشتیبانی از ا اجرای پروژه و نیز از همکاران مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی استانی که در اجرای پروژه مذکور ما را یاری کردند، سپاسگزاری می کنند.

References

Eberhart, S. A., and Russel, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science 6: 36-40.

Fasahat, P., Khayamim, S., Soltani Idliki, J., Darabi, S., Pedram, A., Hasani, M., Jalilian, A., and Babaei, B. 2019. Stability analysis of genotype × environment interaction effect on sugar yield in sugar beet hybrids. Journal of Crop Breeding 11 (32): 33-40 (in Persian).

Fasahat, P., Muhammad, K., Abdullah, A., Rahman, B. M. A., Ngu. M. S., Gauch, J. H. G., and Ratnam, W. 2014. Genotype × environment assessment for grain quality traits in rice. Communications in Biometry and Crop Science 9 (2): 71-82.

Fasahat, P., Rajabi, A., Mahmoudi, S. B., Abdolahian Noghabi, M., and Mohseni Rad, J. 2015. An overview on the use of stability parameters in plant breeding. Biometrics & Biostatistics International Journal 2 (5): 1-11.

Fasahat, P., Rajabi, A., Mohseni Rad, J., and Derera, J. 2016. Principles and utilization of combining ability in plant breeding. Biometrics & Biostatistics International Journal 4 (1): 1-24.

Fasahat, P., Khayamim, S., Soltani Idliki, J., Darabi, S., Pedram, A., Hasanai, M., Jalilian, A., and Babaei, B. 2020. Biplot analysis of genotype × environment interaction on extraction coefficient of sugar in sugar beet hybrids. pp. 1-5. In:

Proceedings of the 16th National Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding. Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Ahwaz, Iran.

Fasahat, P., Khayamim, S., Soltani Idliki, J., Darabi, S., Pedram, A., Hasanai, M., Jalilian, A., and Babaei, B. 2018. Targeted crossing to transfer the resistance genes in sugar beet. pp. 242-243. In: Proceedings of the 4th International Student Biotechnology Congress. Tehran, Iran.

FAO. 2023. FAOSTAT. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

Finlay, K. W., and Wilkinson, G. N. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. Australian Journal of Agricultural Research 14 (6): 742-754.

Francis, T. R., and Kannenberg, L. W. 1978. Yield stability studies in short season maize: I. A descriptive method for grouping genotypes. Canadian Journal of Plant Science 58 (4): 1029-1034.

Friedman, M. 1937. The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. Journal of the American Statistical Association 32: 675-701.

Grausgruber, H., Oberforster, M., Werteker, M., Ruckenbauer, P., and Vollmann, J. 2000. Stability of quality traits in Austrian-grown winter wheats. Field Crops Research 66 (3): 257-267.

Hasani, M., Hamze, H., and Mansori, H. 2021. Evaluation of adaptability and stability of root yield and white sugar yield (*Beta vulgaris* L.) in sugar beet genotypes using multivariate AMMI and GGE Biplot method. Journal of Crop Breeding 13 (37): 222-235 (in Persian).

Hasani, M., Heidari, B., Dadkhodaie, A., and Stevanato, P. 2018. Genotype by environment interaction components underlying variations in root, sugar and white sugar yield in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Euphytica 214 (79): 4-21.

Hoffmann, C. M., and Loel, J. 2015. Bedeutung der Züchtung für den Ertragsanstieg von Zuckerrüben. Sugar Industry 140: 48-56.

Keshavarz, S., Mesbah, M., Ranji, Z. L., and Amiri, R. 2008. Study on stability parameters for determining the adaptation of sugar beet commercial varieties in different areas of Iran. Journal of Sugar Beet 1 (17): 15-36 (in Persian).

Lin, C. S., and Binns, M. R. 1988. A method of analyzing cultivar × location × year experiments: A new stability parameter. Theoretical and Applied Genetics 76 (3): 425-430.

Luterbacher, M., Asher, M., Beyer, W., Mandolino, G., Scholten, O., Frese, L., and Slyvchenko, O. 2005. Sources of resistance to diseases of sugar beet in related Beta germplasm: II. Soil-borne diseases. Euphytica 141 (1): 49-63.

Miller, P. A., Williams, C. J., Robinson, H. F., and Comstock, R. 1958. Estimates of genotypic and environmental variances and covariance in upland cotton and their implication in selection. Agricultural Journal 50: 126-137.

Moradi, F., Safari, H., and Jalilian, A. 2014. Study of genotype × environment interaction for sugar beet monogerm cultivars using AMMI method. Journal of Sugar Beet 28 (1): 55-66.

Pinthus, M. J. 1973. Estimates of genotypic value: a proposed method. Euphytica 22 (1): 345-351.

Reinfeld, E., Emmerich, A., Baumgarten, G., Winner, C., and Beiss, U. 1974. Zur voraussage des melassez zuckersaus ruben analysen zucker. Zucker 27: 2-15.

Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. Heredity 29 (2): 237-245.

Tabrizi, H. Z. 2012. Genotype by environment interaction and oil yield stability analysis of six sunflower cultivars in Khoy, Iran. Advances in Environmental Biology 6: 227-231.

Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Koohkan, E., Ghasemi, S., Moradkhani, H., and Siddique, K. H. 2019. Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes. Euphytica 215: 63. https://doi.org/10.1007/s10681-019-2386-5.

Wricke, G. 1964. Zur berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hafer. Z Pflanzenzuchtg 52: 127-138.

Xie, M. 1996. Selection of stable cultivars using phenotypic variances. Crop Science 36: 572-576.

Yan, W. and Tinker, N. A. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Canadian Journal of Plant Science 86: 623-645.